

• 实验研究 Experimental research •

基于振动排序技术的放射性粒籽源弹夹自动装填设备

房世博, 张旭, 赵子豪, 刘志博, 周围, 张思祥

【摘要】目的 开发研制一种放射性粒籽源弹夹自动装填设备。方法 根据放射性粒籽源的结构特点,采用振动送料技术实现放射性粒籽源弹夹的自动装填,利用光电检测原理实现对装填的放射性粒籽源精准计数,使用盖革米勒计数器对放射性粒籽源进行辐射值检测。结果 放射性粒籽源的装填效率是目前人工装填的 15 倍,保护了放射性粒籽源,同时也减少了辐射对人体所造成的伤害。结论 实现了放射性粒籽源弹夹的自动化装填,保障医疗安全,实现精准治疗。

【关键词】放射性粒籽源;介入治疗;振动排序;自动装填;医疗安全;精准治疗;

中图分类号:R73 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2020)-10-1016-05

Automatic loading equipment for radioactive seed source cartridge based on vibration sequencing technology FANG Shibo, ZHANG Xu, ZHAO Zihao, LIU Zhibo, ZHOU Wei, ZHANG Sixiang. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China

Corresponding author: ZHANG Sixiang, E-mail: 13502063552@163.com

【Abstract】Objective To develop an automatic loading equipment for radioactive seed source cartridge. Methods According to the structural characteristics of the radioactive seed source, the automatic loading device of radioactive seed source cartridge was designed and manufactured by using vibration feeding technology. According to the principle of photoelectric detection, the accurate counting of radioactive seed sources was achieved, and Geiger Miller counter was used to detect the radiation value of the radioactive seed source. Results The loading efficiency of the automatic loading equipment of radioactive seed source was 15 times as much as manual loading adopted in present clinical practice. This automatic loading equipment protected the radioactive seed source and reduced the radiation damage to the human body. Conclusion The use of automatic loading equipment for radioactive seed source cartridge can ensure medical safety as well as the successful implementation of precision treatment. (J Intervent Radiol, 2020, 29: 1016-1020)

【Key words】radioactive seed source; interventional therapy; vibration sequencing; automatic loading; medical safety; precision treatment

肿瘤发生率逐年上升,严重威胁着人们的生命和健康。放射治疗是肿瘤的主要治疗手段中颇为重要的一项内容,距今已有 100 多年的历史^[1]。传统的放疗由于技术的问题,在治疗肿瘤的同时对正常组织也造成较大伤害。放射性粒子治疗是随着介入技术的进步而发展起来的一种近距离放疗模式,是临床问世的一种新型恶性肿瘤治疗方式。在术中直视作用下,或 CT、超声等辅助仪器引导下将放射性粒

籽源直接植入到肿瘤组织内部或病变组织周围,进而达到选择性、持续性杀伤恶性肿瘤细胞的效果,而正常组织不损伤或只有微小损伤^[2-4]。但是在进行放疗准备时,医务人员需在与公安部门实时联网的监控室中对放射性粒籽源植入枪的弹夹进行装填。在装填过程中,医务人员在半封闭的铅玻璃操作箱中进行操作,将放射性粒籽源用镊子手工装填到弹夹中。这种操作方式存在很大的弊端和安全隐患,

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2020.10.012

作者单位: 300130 天津 河北工业大学机械工程学院(房世博、赵子豪、刘志博、周围、张思祥);天津职业技术师范大学机械工程学院(张旭)

通信作者: 张思祥 E-mail: 13502063552@163.com

放射性粒籽源装填操作不便、装填效率不高,人工装填容易对放射性粒籽源表面产生破坏,操作箱没有安全防护与通讯装置,放射性粒籽源产生的辐射会对医务人员的身体健康造成一定影响^[5]。为此,设计了振动给料式放射性粒籽源弹夹自动装填设备;使用振动技术,根据放射性粒籽源的结构特点,设计了振动盘的结构,完成放射性粒籽源的自动定向排序;设计弹夹进给机构,实现了弹夹与振动盘的精准对接,完成放射性粒籽源的自动装填工作^[6];使用光电计数器对装填到弹夹中的放射性粒籽源精准计数;使用辐射探测器对放射性粒籽源弹夹自动装填设备中的放射性粒籽源进行检测。该设备有效地解决了放射性粒籽源弹夹装填过程中存在的问题,大大地提高了介入治疗手术的效率,保障了医疗安全。

1 材料与方法

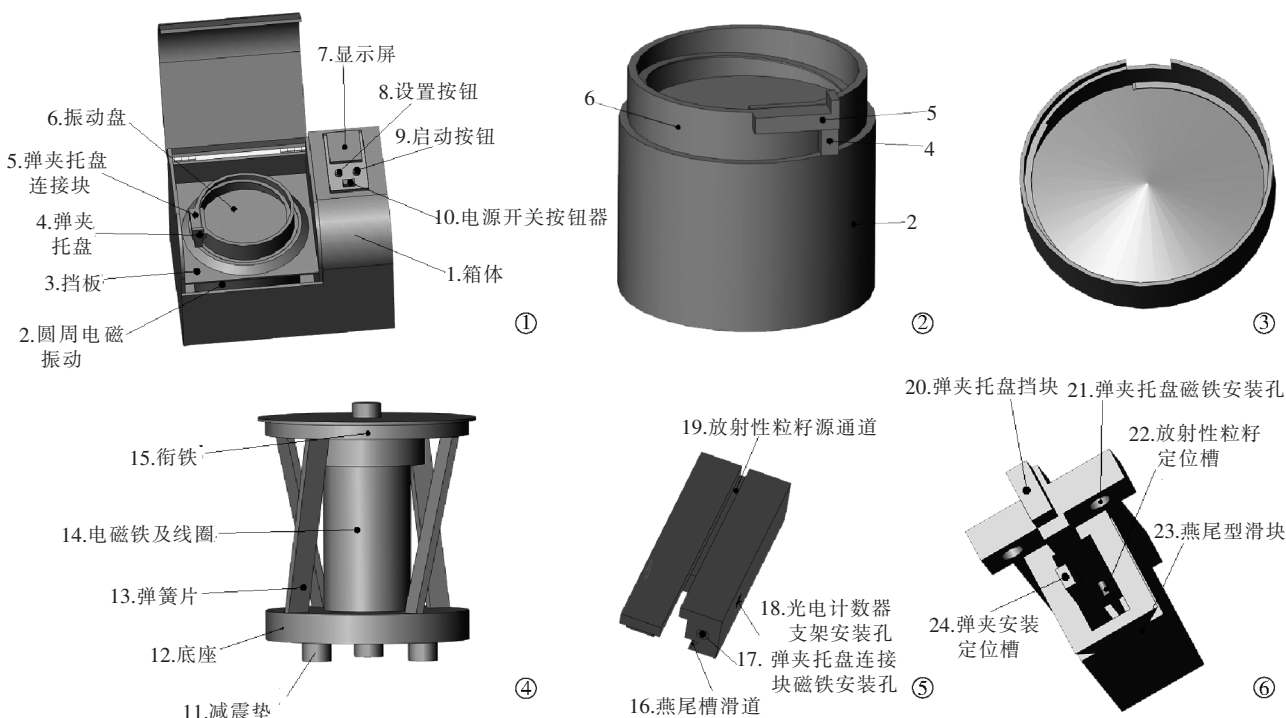
1.1 放射性粒籽源弹夹自动装填设备模型建立

首先运用三维设计软件完成放射性粒籽源弹夹自动装填设备三维实体模型的创建,该设备主要由箱体部分、粒籽源排序部分、弹夹进给部分、电控部分组成,其结构如图 1①所示。粒籽源排序部分、

弹夹进给部分、电控部分均位于箱体部分内,电控部分用于控制各部分动作。粒籽源排序部分包括振动盘、圆周电磁振动器,弹夹进给部分包括弹夹托盘、弹夹托盘连接块。

1.1.1 放射性粒籽源弹夹自动装填设备工作原理 放射性粒籽源弹夹自动装填装置系统意味着该系统能够替代人工完成放射性粒籽源的自动装填工作,因此该系统须具有一套完整的放射性粒籽源的定向排序装填的机械结构,能够实现放射性粒籽源准确的装填到弹夹中,其装配结构如图 1②所示。

本装置采用振动送料的方式实现放射性粒籽源的定向与排序,由圆周电磁振动器提供动力,带动与其连接的振动盘振动,随机倒入振动盘中的放射性粒籽源在盘中的料道上完成定向与排序。在料道的末端设计了弹夹托盘连接块,将装有弹夹的弹夹托盘与弹夹托盘连接块相接,完成定向与排序的放射性粒籽源通过弹夹托盘连接块上的放射性粒籽源通道后落入弹夹中。放射性粒籽源在弹夹中呈沿粒籽源轴线平行的横向排列,如若掉落到弹夹中的放射性粒籽源呈倾斜状态,则弹夹中的放射性粒籽源会随着振动盘的不断振动,直到放射性粒籽源在弹夹中呈横向稳定姿态为止。



①放射性粒籽源弹夹自动装填设备;②放射性粒籽源弹夹自动装填机构装配;③振动盘模型;④圆周电磁振动器模型;⑤弹夹托盘连接块模型;⑥弹夹托盘模型

图 1 放射性粒籽源弹夹自动装模开型

1.1.2 振动盘的结构设计 根据放射性粒籽源的结构尺寸,设计出合适的振动盘,如图 1③所示。振动盘的侧面为圆柱形,其内表面设有能够使放射性粒籽源定向的料道,料道设计为前宽后窄,前部的尺寸略宽,以提高上料速度,料道末端的尺寸设计为仅仅能够使一个放射性粒籽源通过的尺寸,使放射性粒籽源完成定向排序。图 1④。

振动盘与圆周电磁振动器相连接,圆周电磁振动器动力学部分由弹簧片,电磁铁及线圈,衔铁等部分组成,是控制振动盘工作的,内部的脉冲电磁铁及线圈,可以使振动盘作垂直方向振动,由倾斜的弹簧片带动振动盘绕其垂直轴做扭摆振动。振动盘内的粒籽源,由于受到这种振动而沿螺旋振动盘料道上升。在上升的过程中经过料道定向机构的筛选或者姿态变化,能够将无序的放射性粒籽源通过振动的方式自动有序的排列整齐,准确地输送到出料口^[7-8]。

1.1.3 弹夹托盘连接块的设计 弹夹托盘连接块是振动盘出料口与弹夹托盘的连接机构,其结构如图 1⑤所示,弹夹托盘连接块设计成燕尾槽型,可实现与弹夹托盘连接,在连接块的正面设有两个磁铁安装孔,内部安装磁铁,可实现与弹夹托盘之间的固定。在顶部设有一个能够使弹夹进料口与振动盘出料口平齐的凹槽,凹槽的尺寸仅比放射性粒籽源的尺寸略大,使完成定向排序的放射性粒籽源能够依次通过。在弹夹托盘连接块的侧面设有放射性粒籽源光电计数器支架安装孔,用于安装光电计数器支架,安装的光电计数器正对弹夹托盘连接块的凹槽料道。图 1⑤。

1.1.4 弹夹托盘的设计 弹夹托盘是一种简易的安放粒籽源植入枪弹夹的机构,其结构简单,尺寸紧凑,可以实现弹夹的安放与固定。其结构如图 1⑥所示,弹夹托盘设计成燕尾型,可与弹夹托盘连接块的燕尾槽相连接。在托盘的正面设有两个磁铁安装孔,内部安装磁铁,通过与弹夹托盘连接块正面的磁铁安装孔中安装的磁铁相吸引,可以实现弹夹托盘与弹夹托盘连接块的精准对接,即实现振动盘出料口与弹夹托盘连接块的凹槽料道以及弹夹进料口的精密对接。在中部设有一个能够安放弹夹的凹槽,内部设有两个放射性粒籽源定位块,防止落入弹夹的放射性粒籽源从弹夹两侧的通孔中出来。在托盘的顶部设有防止放射性粒籽源溢出的凸台,使完成定向排序的放射性粒籽源一定会落入弹夹中。

弹夹、弹夹托盘、弹夹托盘连接块以及放射性粒籽源的相对运动方向如图 2 所示,弹夹装入弹夹托盘中,将装有弹夹的弹夹托盘沿着燕尾槽推入弹夹托盘连接块中,磁铁相互吸合固定,完成定向排序的放射性粒籽源沿着弹夹托盘连接块上的放射性粒籽源通道前进,从弹夹口中落入弹夹,完成弹夹的装填。

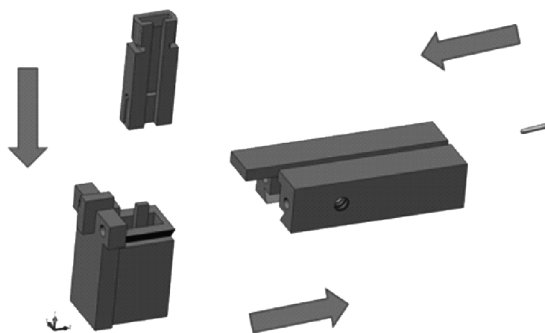


图 2 弹夹、弹夹托盘、弹夹托盘连接块以及放射性粒籽源的相对运动方向

1.1.5 箱体设计 由于放射性粒籽源不同于其他物质,对人体具有很强的放射性,所以在进行箱体设计时,不仅需要保证其外形美观,操作方便,还需采用防辐射材料进行防护^[9-10]。其顶部设有显示屏,可以显示箱体内部的辐射值,放射性粒籽源装填数量等信息。显示屏下方设有操作按键,可以设置放射性粒籽源装填数量,控制该装置的启动与停止等。在箱体的箱盖上覆盖一层隔音棉,可以对振动产生的噪音起到很好的抑制作用。

1.2 放射性粒籽源弹夹自动装填装置检测系统设计 一种放射性粒籽源弹夹自动装填装置的检测系统主要包含两个部分:①实现对箱体内部残留的放射性粒籽源进行检测,防止放射性粒籽源的遗漏丢失;②实现对装入弹夹的放射性粒籽源进行精准计数,以免产生放射性粒籽源误装的情况。

检测系统的设计方案如图 3 所示,单片机控制器与辐射传感器模块、显示模块进行双向通信,电源模块为单片机控制器供电,单片机控制器的输出端分别与振动盘控制器模块、报警模块电连接,传感器模块与光电计数器连接,显示模块与显示屏连接。报警模块通过单片机控制模块采集光电计数器的计数值,随光电计数器计数增加单片机控制模块控制报警模块实时报数,当计数到最大装填数量后,单片机控制模块控制报警模块自动发出提示音,并控制振动盘控制器模块停止工作。

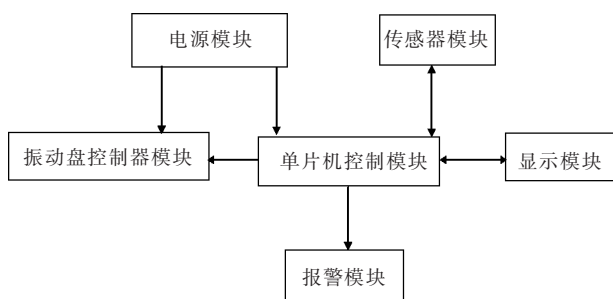


图3 检测系统设计方案

放射性检测是指对能够产生电离辐射或电磁辐射等带有放射性的机器或工地进行安全检测。按介质可分为气体探测器、闪烁探测器、半导体探测器。根据放射性粒籽源的尺寸以及辐射剂量,本自动装填装置选用气体探测器即盖革—米勒计数器对装置内的放射性粒籽源进行辐射检测。其特点是制造简单,价格便宜,易于操作,输出脉冲幅度大,对电子学路线要求简单^[11-12]。

计数模块选用 risym 品牌的 M3 激光漫反射传感器,工作电压为 10~30 V,具有灵敏度高、响应频率快、定位精准、稳定性高等特点。

电源模块为 220 V 开关电源,振动盘控制器模块为 SDVC31-S 数字调频振动送料控制器。如果电压过小时,圆周电磁振动控制器无法提供足够的前进动力给振动盘中的放射性粒籽源,如果电压过大时,放射性粒籽源弹夹的装填准确率会降低,而且设备的噪音很大。所以通过实验,电压为 110 V、频率为 80 Hz 时,放射性粒籽源弹夹装填设备的稳定性最好。单片机控制器控制模块为 Arduino 单片机,优选 Arduino Uno 单片机,显示模块为通用 LCD 液晶显示屏,报警模块为 risym 品牌的有源蜂鸣器模块。

2 实验与结果

2.1 放射性粒籽源弹夹自动装填装置的实验过程

实验样机如图 4 所示,打开箱盖,将弹夹插入弹夹托盘中,将装有弹夹的弹夹托盘沿着燕尾槽滑道安装到弹夹托盘连接块上,弹夹托盘连接块磁铁安装孔中的磁铁与弹夹托盘磁铁安装孔中的磁铁相互吸合,实现弹夹托盘连接块与弹夹托盘的定位与固定。此时弹夹的进弹口与弹夹托盘连接块上的放射性粒籽源通道平齐。将放射性粒籽源倒入振动盘,关闭箱盖,按下电源开关按钮打开电源,通过设置按钮设置最大装填量,按下启动按钮启动装置,振动盘本体开始工作,粒籽源在振动盘的料道中进行定向排序,未通过料道上定向机构的放射性粒籽

源会掉落到振动盘底部重新进行定向排序,直到所有放射性粒籽源定向排序完毕。完成定向排序的放射性粒籽源从出料口进入弹夹托盘连接块上的放射性粒籽源通道,由于振动盘的振动惯性,放射性粒籽源继续前进,直至落入弹夹中。在弹夹口处安装有光电计数器,每次有粒籽源通过时都会记一次数,显示屏数字显示累加一次,至计数到最大装填量,振动盘本体停止工作,并发出提示声响,按下电源按钮关闭电源,装填过程完毕,打开箱盖,将弹夹托盘与弹夹托盘连接块分离,从弹夹托盘中取出弹夹。



图4 实验样机

2.2 结果

以一个弹夹装填 10 粒放射性粒籽源为标准,在 100 次放射性粒籽源弹夹自动装填重复性实验中,准确装填 97 次,装填准确姿态如图 5①所示。另外 3 次实验中,存在装填姿态不符合要求的情况,装填有误的姿态如图 5②所示,需要重新装填,装填准确率 97%。完成 10 粒放射性粒籽源的定向,排序以及装填到一个弹夹中的平均用时为 1 分钟,相比于人工装填平均用时需要 10~15 min,装填效率是目前人工装填的 15 倍。

3 讨论

放射性粒籽源介入治疗是肿瘤治疗的重要方法,但是目前相关的植入医疗辅助设备还存在粒籽源装填效率低、缺少放射性检测功能、放射性粒籽源安全防护措施不足等问题^[13-15]。本文综合应用了现代计算机技术、辐射检测技术、自动化技术开展了相关方面的研究。相比于目前现有的放射性粒籽源弹夹自动装填设备,采用振动送料的方式可以有效地保护放射性粒籽源的薄壁外壳,避免了在装填过程中由于薄壁外壳表面的破损而造成放射性物

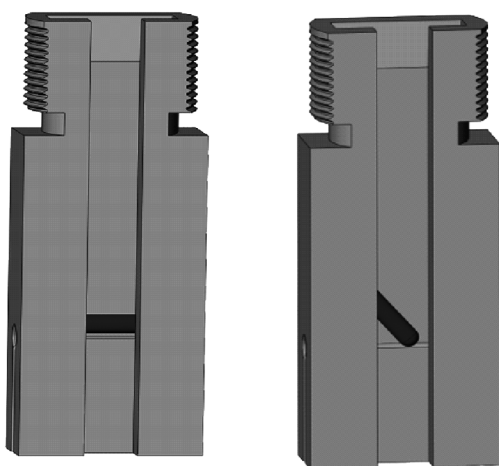


图5 放射性粒籽源弹夹准确装填与错误装填

质泄漏产生的危害。相比于目前采取人工统计的方式,本文采用了光电传感器实现了对装入弹夹中的放射性粒籽源自动计数,有效地提高了放射性粒籽源的装填效率,同时也避免了操作人员的主观失误造成安全管理上的漏洞。相比于目前还需要额外的探测器检测设备中遗漏的放射性粒,本文研发的设备中集成了盖革米勒计数器以实现对遗漏的放射性粒籽源进行检测并且报警,实时有效地监测每一粒放射性粒籽源的状况。最后对整个设备进行辐射防护以及隔音的设计,有效地阻止了辐射对操作人员造成的伤害,提高了放射性粒籽源装填过程中的安全性^[16]。

本研究结论为本设备的装填准确性为 97%,装填效率较目前人工装填提高了 15 倍,本文研究的设备极大缩短了介入治疗的术前准备时间,有效地降低了放射性粒籽源对医务人员以及患者造成的伤害。

[参考文献]

- [1] 张成明. 碘 125 粒子治疗晚期恶性肿瘤现状与进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2017, 17:28-29.
- [2] 陈磊, 郑传胜. 碘 125 粒子植入联合其它疗法在各期肝癌治疗中的应用[J]. 介入放射学杂志, 2019, 28:910-913.
- [3] Walsh CJ, Hanumara NC, Slocum AH, et al. A Patient-mounted, telerobotic tool for CT-guided percutaneous interventions[J]. J Med Devices, 2008, 2: 121-136.
- [4] 肖越勇. 努力提高影像引导下个体化肿瘤介入治疗效果[J]. 介入放射学杂志, 2016, 25:371-373.
- [5] 钟红珊, 徐克. 中国介入医学发展的亮点, 痛点与焦点[J]. 介入放射学杂志, 2019, 28:407-410.
- [6] 孔德巍, 宿丽丽, 张希颜, 等. 对玉米种子数粒仪的改进[J]. 种子世界, 2018, 36:40-41.
- [7] 牛东伟. 基于 ADAMS 的振动给料机运动特性仿真分析[J]. 煤矿机械, 2019, 40:88-89.
- [8] 王二锋, 张亮, 谭秀民, 等. 惯性振动给料机物料运动状态研究[J]. 河南科技, 2018, 34:40-42.
- [9] 刘忠超, 张文艺, 屈喜梅, 等. 放射性粒子源在肿瘤治疗中的应用及其防护[J]. 医学综述, 2013, 19:634-636.
- [10] Granero D, Perez - Calatayud J, Ballester F, et al. Radiation leakage study for the Valencia applicators[J]. Phys Med, 2013, 29: 60-64.
- [11] 张松寿, 熊建平. GM 计数管输出脉冲幅度分布[J]. 核电子学与探测技术, 1995, 15:92-97.
- [12] 何伟基, 司马博羽, 程耀进, 等. 基于盖格-雪崩光电二极管的光子计数成像[J]. 光学精密工程, 2012, 20:1831-1837.
- [13] 刘光, 段翠海, 张海军. 介入手术输送系统研究进展[J]. 介入放射学杂志, 2018, 27:695-699.
- [14] 刘洋, 吴远浩, 郑玉峰, 等. 介入器械分类及其发展趋势[J]. 中国医疗器械信息, 2014, 20:1-8.
- [15] 刘道志, 罗七一, 常兆华. 介入医疗器械的发展现状与趋势[J]. 中国医疗器械信息, 2008, 14:2-11.
- [16] 耿建华, 曹仲年, 赵卫强, 等. ¹²⁵I 粒子装载过程中工作人员受照剂量的研究[J]. 中国医学装备, 2012, 9:1-3.

(收稿日期:2019-09-12)

(本文编辑:俞瑞纲)